

池山高架橋下り線・9径間連続ラーメン箱桁橋の設計

ピーエス・ドーピー建設工業共同企業体 正会員 ○河村 直彦
 日本道路公団 中部支社 構造技術課 五藤 正樹
 日本道路公団 中部支社 亀山工事事務所 岡田 健
 ピーエス・ドーピー建設工業共同企業体 正会員 日高 重徳

1. はじめに

池山高架橋（下り線）は第二名神高速道路において三重県亀山市内に設けられる、全長約 1.5km の橋梁であり、9 径間連続ラーメン箱桁橋、5 径間連続鋼版桁橋、12 径間連続 2 主版桁橋で構成される。このうちの 9 径間連続ラーメン箱桁部の設計について報告する。

9 径間連続ラーメン箱桁橋部は橋長 775m、最大橋脚高さ 73.5m、最大支間 110m であり、設計においては、コストの縮減、耐久性の向上、大規模地震に対する安全性の向上を目標とした。その結果、全外ケーブルによるカンチレバー架設、高橋脚における鋼管複合構造橋脚の採用およびそれに伴う動的応答解析の実施等が採用されている。本報告では、設計の概略、特に全外ケーブルによる架設および動的応答解析について述べることにする。

現在、鋭意施工がすすめられており、施工完了は平成 15 年度の予定である。

2. 橋梁概要

本橋の側面図を図-1、標準断面図を図-2、橋梁緒元を表-1 に示す。

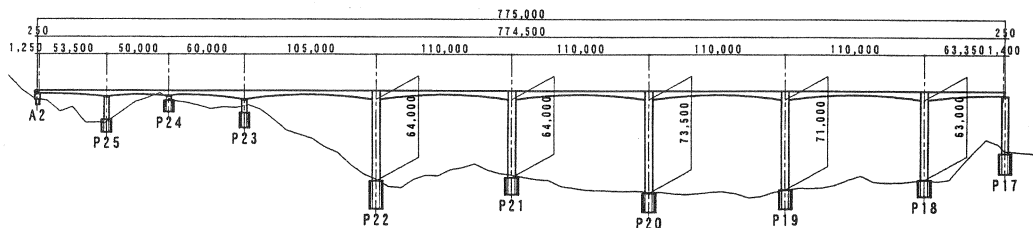


図-1 側面図

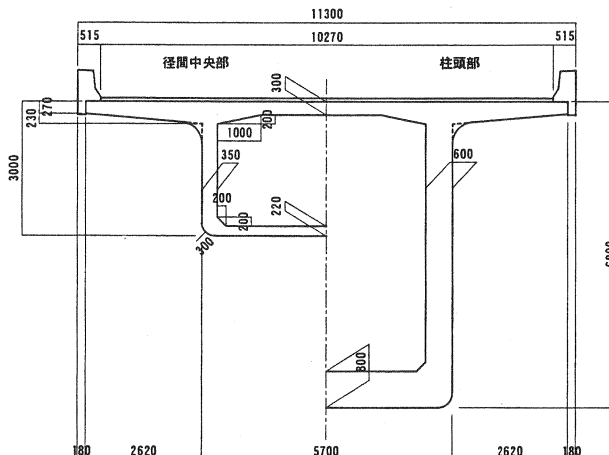


図-2 標準断面図

表-1 橋梁緒元

橋種	プレストレストコンクリート橋
道路規格	第1種 第3級 B規格
構造形式	9 径間連続 PC ラーメン箱桁橋
支間長	53.5+50.0+60.0+105.0+4@110.0+63.35 (m) (道路中心線上での支間長)
有効幅員	10.270 m
設計活荷重	B活荷重
施工方法	カンチレバー工法, 固定支保工

3. 主方向の設計

3.1 設計方針

(1)主方向 PC 鋼材

主方向 PC 鋼材は、橋梁の耐久性や点検・取り替えを考慮して、架設ケーブルを含めて全外ケーブルとし、使用する PC 鋼材は、架設ケーブル、連続ケーブルとも 19S15.2B とした。ただし、柱頭部のみ 1S28.6 プレグラウト PC 鋼材を使用することとした。

外ケーブルによるプレストレスは、内力法により評価している。

(2)終局荷重時の検討

破壊抵抗曲げモーメントの算出において、外ケーブルは引張抵抗材として評価できるものとし、その場合の外ケーブルの応力度増加量として 100N/mm²を見込むものとした。

せん断に対しては、外ケーブルの鉛直方向分力を逆せん断力として有効に利用することとした。

3.2 主ケーブルの配置

上記の設計方針で設計を行った結果、主方向ケーブルの配置は図-3のとおりとなった。なお、架設外ケーブルは、すべての橋脚において 2 段配置とすることができた。なお、スパン割により P24 柱頭部は張出架設を行わずに、P23 および P25 の張出架設を行った後に P24 柱頭部を支保工にて場所打ちして閉合することとしている。

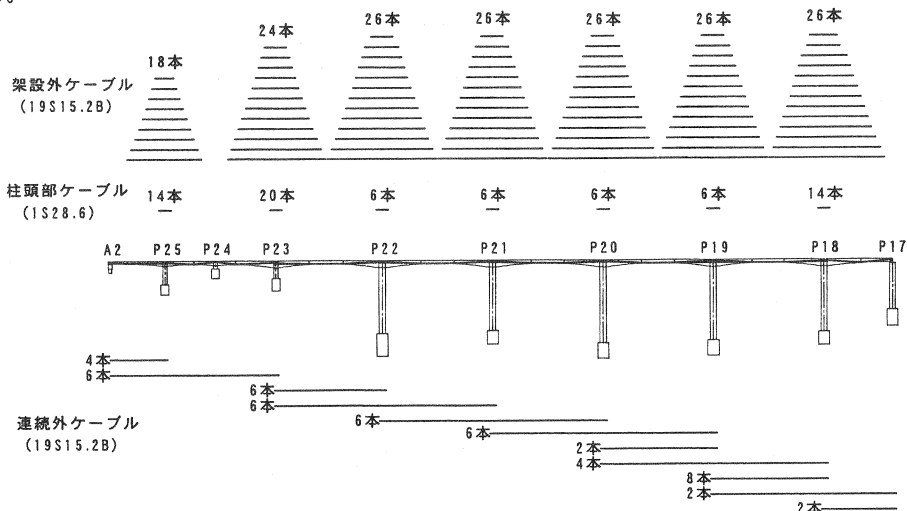


図-3 主方向 PC 鋼材配置図

3.3 架設外ケーブルの定着突起の設計

架設外ケーブルの定着部付近は複雑な応力度分布になっていると予想されるため、FEM およびコーベルモデルにより引張力を求め、これに対する補強方法を決定することとした。FEM による解析モデルを図-4 に示す。

設計にあたっては、以下の方針をとることとした。

- 定着部表面に発生する引張応力度を、コンクリートの引張強度以内に制限する。
- FEM 等により算出した引張力に対して、補強鉄筋で負担する。

架設外ケーブルの定着部構造寸法および補強筋配置を図-5 に示す。

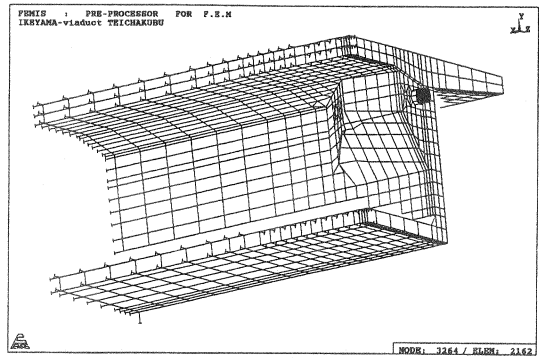


図-4 定着突起解析モデル全体図

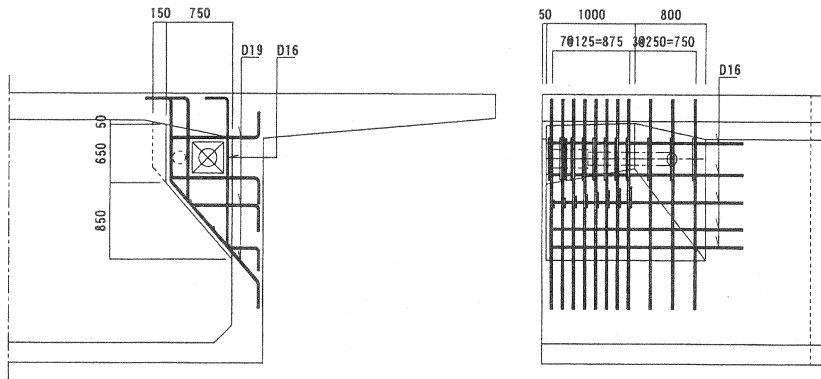


図-5 架設外ケーブル定着部の構造寸法および補強筋配置

3.4 デビエータの設計

デビエータは、架設外ケーブルに対して上床版に設置するものと、連続ケーブルに対して中間隔壁に設置するものとを検討した。設計方法は、FEM により引張力を求め、これに対して PC 鋼材または鉄筋を配置することとした。

(1) 架設外ケーブル用デビエータの設計

架設外ケーブル用デビエータでは、水平方向分力により橋軸直角方向に大きな引張力が作用することが確認された。そこで、デビエータ内に横締め PC 鋼材を配置することとした。図-6 に架設外ケーブル用デビエータの補強方法を示す。

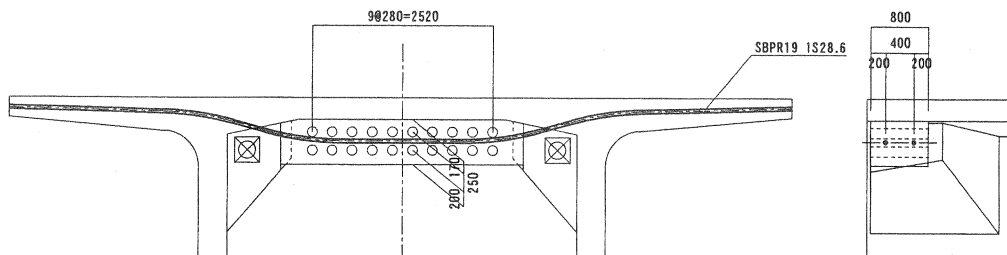


図-6 架設外ケーブル用デビエータ

(2)連続ケーブル用デビエータの設計

連続ケーブル用デビエータは隔壁に設置することとした。P19～P18 径間に設置されるデビエータを図-7に示す。

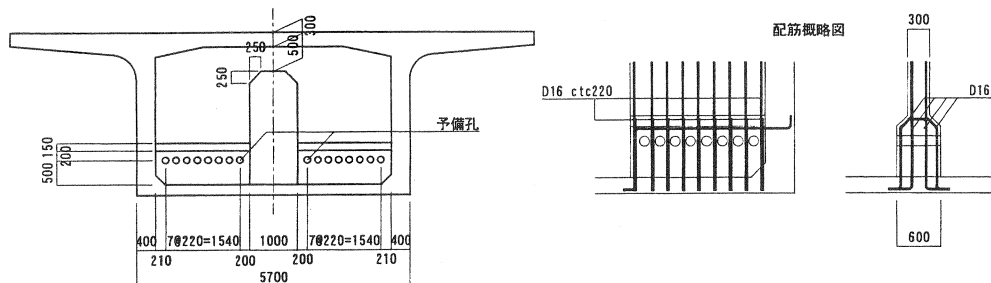


図-7 連続ケーブル用デビエータ

4. 動的応答解析

4.1 解析概要

本橋は連続ラーメン構造であり、道路橋示方書 V 耐震設計編での「地震時の挙動が複雑で、地震時保有水平耐力法の適用性が限定される橋」に分類される。そこで、動的応答解析を実施し、地震時での安全性を確認している。

(1)下部工に対する検討

本橋のラーメン橋脚は、鋼管複合橋脚である。そこで、設計マニュアル¹⁾をもとに、脚の上下端部を塑性ヒンジとしてモデル化する。弾塑性履歴特性は Takeda モデルを使用している。

照査は、脚の上下端部での塑性率が許容塑性率以内であることをチェックすることにより行う。許容塑性率は、Type1 地震動に対して 7.0、Type2 地震動に対して 12.5 とした。

(2)上部工に対する検討

上部工は降伏剛性をもつ弾性体としてモデル化し、塑性化させないこととした。このため、降伏曲げモーメントが不足する断面では、鉄筋を追加することにより補強することとしている。

なお、端支点 (A2 および P17) は直角方向に対して変位制限構造が設置されるため、ヒンジとしてモデル化している。

(3)解析手法

解析手法は、橋脚の非線形性を直接非線形履歴モデルに取り込んだ時刻歴応答解析法とした。積分方法は Newmark- β 法 ($\beta=0.25$)、積分間隔は 0.001 秒とした。

本橋は I 種地盤上にあることから、入力地震波は I 種地盤用の Type1 地震波 3 波、Type2 地震波 3 波の計 6 加速度波形とし、応答値は各々 3 波を平均したものとした。

4.2 解析結果

(1)固有周期

本橋の固有周期は、表-2 のとおりとなった。このうち、刺激係数の大きい橋軸方向 1 次および橋軸直角方向 1、2 次の振動モード図を、図-8～図-10 に示す。

表-2 固有周期

次数	橋軸方向			橋軸直角方向		
	固有振動数 (1/sec)	固有周期 (sec)	刺激係数	固有振動数 (1/sec)	固有周期 (sec)	刺激係数
1次	0.5733	1.7442	168.6	0.4462	2.2412	117.1
2次	0.7500	1.3333	-0.76	0.5037	1.9853	-58.08
3次	0.9198	1.0872	-2.22	0.5492	1.8207	-45.30
4次	0.9744	1.0263	-0.04	0.6792	1.4724	-15.86
5次	1.0277	0.9730	3.77	0.8020	1.2469	19.17

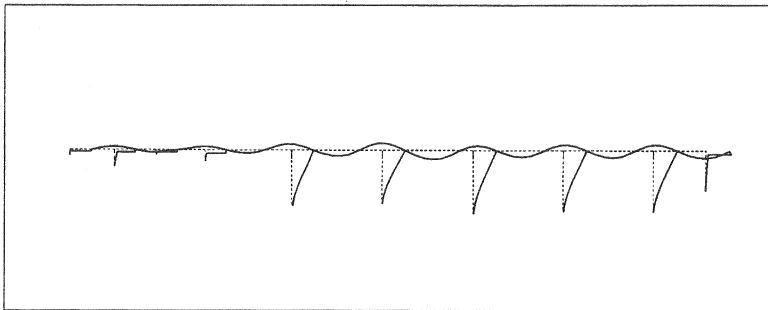


図-8 橋軸方向1次モード

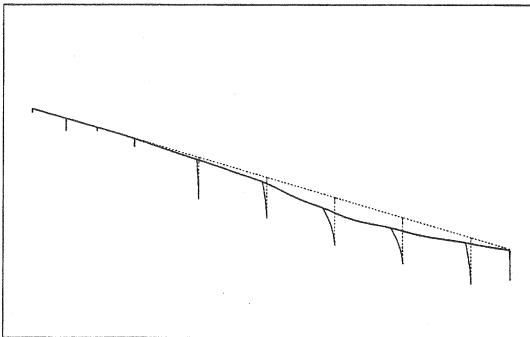


図-9 橋軸直角方向1次モード

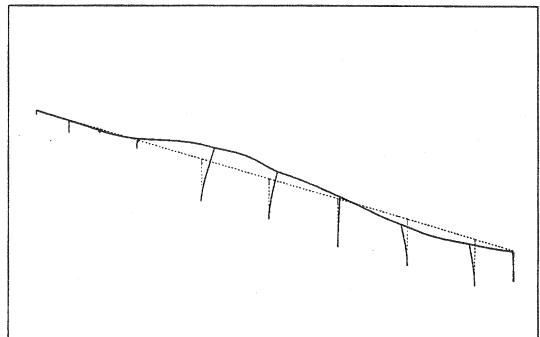


図-10 橋軸直角方向2次モード

(2)下部工の照査結果

ラーメン橋脚の塑性率を表-3に示す。

橋軸方向の塑性率の最大値は、Type1地震動に対しては1.287 (P21 下端での最小応答値)、Type2地震動に対しては0.665 (P17 下端での最大応答値) となり、許容塑性率以内となった。

橋軸直角方向の塑性率の最大値は、Type1地震動に対しては1.929 (P20 下端での最小応答値)、Type2地震動に対しては0.844 (P22 下端での最大応答値) となり、許容塑性率以内となった。

Type1地震動に対する塑性率が、Type2地震動に対するものよりも大きくなっているが、これは本橋の固有周期が橋軸方向で1.74秒、橋軸直角方向で2.24秒と長周期であるため、長周期成分の多いType1地震動の方がより影響が大きいためであると考えられる。

表-3 ラーメン橋脚の塑性率

部位	Type1			Type2		
	橋軸方向	直角方向	許容塑性率	橋軸方向	直角方向	許容塑性率
P22 上端	0.308	0.022	7.0	0.235	0.021	12.5
P22 下端	0.522	1.507	7.0	0.367	0.844	12.5
P21 上端	0.462	0.042	7.0	0.288	0.035	12.5
P21 下端	1.287	1.252	7.0	0.661	0.658	12.5
P20 上端	0.468	0.026	7.0	0.311	0.023	12.5
P20 下端	0.787	1.929	7.0	0.473	0.744	12.5
P19 上端	0.456	0.020	7.0	0.295	0.017	12.5
P19 下端	0.820	1.676	7.0	0.495	0.796	12.5
P18 上端	0.522	0.023	7.0	0.410	0.030	12.5
P18 下端	0.719	0.510	7.0	0.398	0.397	12.5
P17 下端	0.496	0.521	7.0	0.665	0.818	12.5

(3) 上部工の解析結果

上部工については、不足する断面には鉄筋を追加することにより、すべて降伏時モーメント以内となった。また、最大応答せん断力は抵抗せん断力以内であることを確認した。

(4) 最大応答変位および残留変位

最大応答変位を表-4、ラーメン橋脚の残留変位を表-5に示す。残留変位の許容値は橋脚高の1/100とした。よって、すべての橋脚において残留変位は許容値以内であった。

表-4 最大応答変位(m)

	橋軸方向		橋軸直角方向	
	Type1	Type2	Type1	Type2
A2	0.493	0.300	0.000	0.001
P25	0.493	0.300	0.198	0.165
P24	0.494	0.300	0.264	0.193
P23	0.493	0.300	0.266	0.195
P22	0.494	0.301	0.518	0.379
P21	0.492	0.300	0.460	0.296
P20	0.492	0.301	0.732	0.442
P19	0.491	0.301	0.655	0.442
P18	0.491	0.302	0.355	0.267
P17	0.491	0.302	0.102	0.163

表-5 ラーメン橋脚の残留変位(m)

	橋軸方向		橋軸直角方向	
	Type1	Type2	Type1	Type2
P22	0.024	0.015	0.004	0.006
P21	0.024	0.015	0.023	0.012
P20	0.024	0.015	0.053	0.031
P19	0.024	0.014	0.035	0.030
P18	0.023	0.014	0.021	0.013

5. まとめ

池山高架橋は平成13年4月より施工が開始され、平成15年度の施工完了に向けて鋭意努力している。施工においては、全外ケーブルによる張出架設、高橋脚でのコンクリート打設等、高度な技術力を要することが予想される。これについても、後日報告することとしたい。

本橋はコスト縮減、耐久性向上を目的として全外ケーブル構造を採用している。また、地形条件より高橋脚となり鋼管複合橋脚による連続ラーメン構造となっており、大規模地震時での安全性の照査が必要となっている。今後においても、このような構造形式の採用が予想されるが、本報告がその際の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路公団技術部：鋼管・コンクリート複合構造橋脚設計マニュアル改訂版，2000年1月